

# BICYCLE ADDITIONAL DRIVE WITH A COMBUSTION ENGINE AND AN ELECTRIC POWERTRAIN

**Lukáš Doležal**

Master (2), FEEC BUT

E-mail: xdolez62@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Pavel Vorel

E-mail: vorel@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The objective of this paper is power converter design for bicycle with combustion engine and electric power transmission. Converter is powered by a generator which is connected to the combustion engine shaft. The power converter is controlling by microprocessor and control algorithm is designed to achieve maximum efficiency of combustion motor. In this paper is described design of circuits, printed board, driving algorithm and mechanical arrangement of whole powertrain.

**Keywords:** DC/DC Converter, Flyback converter, Buck converter, Boost Converter, Electrobike, Combustion Engine, DC motor, Overcurrent protection, Overvoltage protection, PWM

## 1 ÚVOD

Jízdní kola s pomocným elektromotorem se v posledních letech stala, díky dostupným a levným pohonům, velmi oblíbenými. Nejobvyklejší konstrukce spočívá v umístění BLDC nebo DC motoru do výpletu elektrokola a tento motor je potom pomocí tranzistorového měniče napájen z baterií.

Naproti tomuto konvenčnímu a osvědčenému řešení se tato práce zabývá návrhem pohonné jednotky jízdního kola s elektrickým přenosem výkonu. V principu lze říci, že jde o jízdní kolo osazené spalovacím motorem s generátorem tvořícím elektrocentrálu. Ta je zdrojem elektrické energie pro měnič a ten potom napájí stejnosměrný motor umístěný ve výpletu kola.

Tato koncepce je svým principem zcela netradiční. Je však nutno podotknout, že daný pohon může se svou složitostí a cenou jen stěží konkurovat klasickému elektrickému pohonu s bateriemi nebo motokolu se spalovacím motorem s ryze mechanickým přenosem energie. Význam konstrukce je tedy spíše experimentální.

Výhodou elektrického přenosu výkonu ze spalovacího motoru ale je, že spalovací motor může vždy pracovat na otáčkách, které jsou optimální vzhledem k mechanickému výkonu na hřídeli. Docílíme tak snížení spotřeby paliva a delší životnosti motoru, než kdyby byl s poháněným kolem spojen jen přes mechanický převod. Výhodou využití této koncepce na jízdním kole je potom nezávislost na poměrně dlouhých nabíjecích časech baterií a tedy delší dojezd.

## 2 POUŽITÉ KOMPONENTY

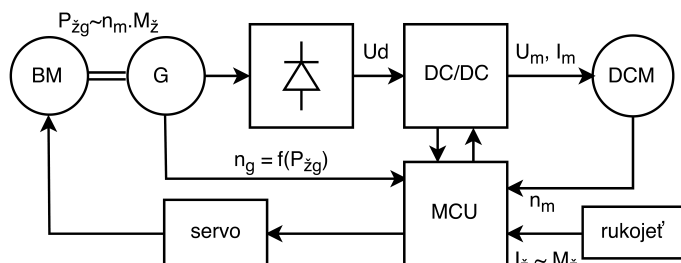
Celý pohonný řetězec byl navržen pro jízdní kolo Electra Amsterdam. Mechanické uspořádání elektrocentrály v rámu kola je zachyceno na obrázku 4. Ta sestává z benzinového motoru Subaru Robin EH035 (33 ccm) a generátoru. Na obrázku je také pomocí modrého kartonu naznačeno budoucí umístění a tvar krabice navrhovaného měniče. Jako generátor byl použit modelářský BLDC motor AXI 5345/18. Do výpletu předního kola byl umístěn hnací stejnosměrný motor Heinzmann RN120 (250 W/24 V) a na řídítkách je umístěna páka plynu, kterou jezdec nastavuje žádaný mechanický moment motoru.

### 3 KONCEPCE POHONU

Jednotlivé bloky tvořící pohon elektrokola jsou zakresleny v blokovém schématu na obrázku 1. Spalovací motor (*BM*) je hřídelí spojen s generátorem (*G*), trojfázový proud z generátoru je následně usměrněn šestipulsním usměrňovačem a veden do DC/DC měniče, který napájí hnací motor elektrokola (*DCM*). Řídicí jednotka (*MCU*) realizuje dvě regulační smyčky zajišťující funkci pohonu.

**Regulační smyčka proudu motorem.** Řídicí jednotka zpracovává signál z rukojeti plynu, kterou jezdec nastavuje žádaný proud stejnosměrného motoru od nuly do maximálního štítkového proudu 28 A. Žádaný proud je porovnán se skutečným proudem měřeným pomocí bočníku v DC/DC měniči a takto vytvořená regulační odchylka je vedena do diskrétního PI regulátoru proudu, jehož výstupem je střída pro zvyšující nebo snižující měnič. Regulátor byl nastaven na základě znalosti indukčnosti a odporu kotvy motoru pomocí metody symetrického optima. Dle katalogových parametrů byla provedena výkonová analýza motoru a stanoven maximální příkon 950 W. Bylo vypočteno, že při plném proudu 28 A, bude mít motor maximální příkon při rychlosti 17 km/hod. Pro větší rychlost je žádaná hodnota proudu s narůstající rychlostí lineárně snižována tak, aby nedošlo k překročení maximálního příkonu. Pohon tedy může působit maximálním momentem do rychlosti 17 km/hod. Z důvodu omezení ztrát na motoru se předpokládá, že maximální moment bude motor vyvíjet pouze při rozjezdech, a proto je tato mezní rychlost zcela dostačující.

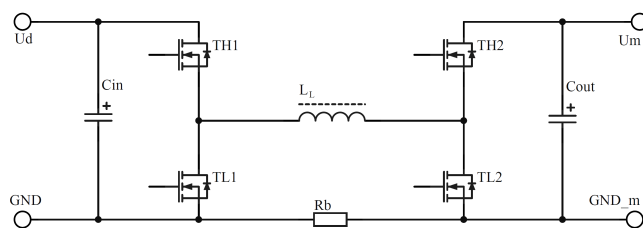
**Regulační smyčka otáček generátoru.** Ze známého žádaného momentu (proudu DC motorem) a aktuální rychlosti elektrokola (indukovaným napětím DC motoru) je stanoven žádaný příkon motoru  $P_{zg}$ . V závislosti na velikosti příkonu jsou potom stanoveny potřebné otáčky generátoru  $n_g$ , při kterých je možné z generátoru tento výkon odebírat. Optimální funkční závislost  $n_g = f(P_{zg})$  je dána účinnostní mapou motoru, kterou však výrobce neudává. Prvotně proto byla použita lineární funkce a stanovení optimální závislosti bude předmětem dalších vylepšení pohonu. Otáčky  $n_g$  jsou porovnány s měřenými aktuálními otáčkami. Výsledkem je regulační odchylka, která je zpracována diskrétním PI regulátorem, jehož výstupem je signál pro řízení servomotoru ovládajícího škrtkový klapku motoru.



Obrázek 1: Blokové schéma pohonu

### 4 HARDWARE MĚNIČE

Z vlastností použitých komponent pohonu vychází následující požadavky. Rozsah provozního napětí stejnosměrného meziobvodu neboli rozsah výstupního napětí generátoru 13-58 V, výstupní napětí měniče 0-58 V, výstupní proud 0-28 A. Přičemž měnič požadované hodnoty výstupního napětí a proudu musí poskytovat nezávisle na velikosti vstupního napětí. Pouze za tohoto předpokladu bude možné spalovací motor provozovat dle zvolené závislosti  $n_g = f(P_{zg})$ . Z výše uvedeného vyplývá, že zkonstruovaný měnič musí pracovat ve zvyšujícím i snižujícím režimu. Z tohoto důvodu byla zvolena topologie tvořená kombinací klasického zvyšujícího a snižujícího měniče. S ohledem na přepínací ztráty byla zvolena spínací frekvence měniče 25 kHz. Ilustrační schéma výkonové části měniče je na obrázku 2.



**Obrázek 2:** Ilustrační schéma výkonové části měniče

Pokud je v provozu snižující měnič je trvale sepnutý TH2 a tranzistory TH1 a TL1 jsou spínány komplementárně. Zvyšující měnič je tvořen tranzistory TH2, TL2, kondenzátorem  $C_{out}$  a tlumivkou  $L_L$ . Při činnosti zvyšujícího měniče je trvale sepnutý TH1 a tranzistory TH2 a TL2, jsou spínány komplementárně. Pro buzení tranzistorů byly použity budiče s oddělovacím optočlenem se stínicí mřížkou. Napájení budičů tranzistorů TL1 a TL2 je realizováno ze společného napájecího zdroje galvanicky spojeného se zemí řídicí elektroniky. Budiče tranzistorů TH1 a TH2 jsou napájeny samostatnými galvanicky oddělenými zdroji. Osazená deska celého měniče je na obrázku 3. Návrh byl proveden v systému Altium.

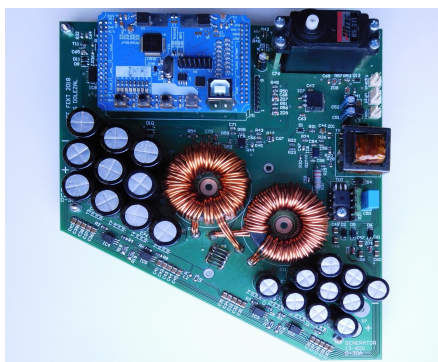
**Napájení řídicích obvodů a budičů** bylo realizováno pomocí blokujícího měniče s transformátorem. Měnič byl navržen tak, aby spolehlivě pracoval v rozsahu napájecího napětí 13-60 V. Maximální přenášený výkon zdroje je 15 W. Předmětem práce byl také výpočet a výroba transformátoru.

**Měření proudu motorem** je realizováno pomocí bočníku. Signál z bočníku je zesílen pomocí dvou-  
stupňového neinvertujícího zesilovače a přiveden do řídicího mikroprocesoru.

**Přepět'ová a nadproudová ochrana měniče** je realizována z důvodu spolehlivosti rychlé reakční doby analogově pomocí komparátorů s hysterezí.

## 5 ZÁVĚR

V článku byl rámcově popsán návrh hardware a řídicích algoritmů měniče pro motokolo s elektrickým přenosem výkonu. V současné době je navržený měnič vyroben, naprogramován a je plně funkční. Dalším krokem práce bude výroba hliníkové krabice pro měnič a jeho testování při jízdě elektrokola.



**Obrázek 3:** Navržený měnič



**Obrázek 4:** Kolo s elektrocentrálou

## REFERENCE

- [1] DOLEŽAL, Lukáš. Motokolo s benzinovým motorem a elektrickým přenosem výkonu. Brno, 2018, 55 s. Semestrální projekt